

# Perancangan Inverter Satu Fasa PWM dengan Teknik Eliminasi Harmonisa

**Barqie Tauhid**

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak  
E-mail : Bar\_thd@yahoo.com/ barqie007@gmail.com

**Abstract** - Today, the development of technology continues to increase, it is seen more and more electronic equipment used in everyday use, one of them in the realm of science electrical energy conversion, ie the inverter. Inverters are variable voltage electrical appliance which can change DC power into AC power.

There have been many studies conducted in order to obtain an output voltage of the inverter is sinusoidal wave. However, a new technique in rigorous academics UNTAN not been realized in the form of real inverter device. Harmonic elimination technique is a signal processing technique to get the inverter switching pattern in order to obtain the maximum output waveform THD sinusoidal and minimum values. With the combination of the control signal generating circuit and microcontroller AT89S52 LC filter, the inverter output is expected to have a sinusoidal waveform.

From the results of the testing that has been done, harmonic elimination technique can be used to obtain a sinusoidal voltage with a total harmonic distortion is 9.1%.

**Keywords** - Inverter, Harmonic Elimination technique, the control signal generating circuit microcontroller AT89S52, LC Filters

## 1. Pendahuluan

Dalam lingkup ilmu konversi energi listrik, dikenal sebuah *konverter DC-AC* yang biasa disebut inverter. Inverter merupakan perangkat statis yang tidak memakai komponen bergerak dalam proses konversi tegangan listrik.

Untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi dari sebuah inverter, dibutuhkan tegangan keluaran yang sinusoidal dan total distorsi harmonik minimal. Efisiensi yang tinggi dari sebuah inverter akan mempengaruhi tegangan *output* inverter.

Tegangan output inverter yang ideal yaitu tegangan yang mempunyai gelombang sinusoidal murni (*pure sine wave*).

Terdapat berbagai macam metode pengaturan inverter yang dilakukan dalam rangka perbaikan unjuk kerja sistem inverter. Dari penelusuran literatur, metoda pengaturan PWM adalah salah satu metoda yang telah terbukti baik. Pengaturan PWM diimplementasikan dalam bentuk pembangkit sinyal pulsa.

Macam-macam analisis teknik pembangkitan pulsa PWM dengan algoritma yang berbeda-beda telah dilakukan. Salah satu metode yang baru dan sedang diteliti oleh beberapa peneliti adalah teknik eliminasi harmonisa.

Teknik eliminasi harmonisa atau dapat disebut juga sebagai *Harmonic Elimination of PWM* merupakan teknik dalam meminimalisir kadar harmonisa pada tegangan keluaran inverter. Pada dasarnya teknik ini merupakan perpaduan antara efisiensi dan kualitas inverter untuk mencapai pola penyaklaran dengan total distorsi harmonisa yang sangat rendah.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Inverter

Inverter adalah sebuah perangkat peubah listrik yang dikenal memiliki kemampuan untuk merubah listrik bertegangan DC menjadi listrik bertegangan AC dengan nilai frekuensi yang dapat diatur. Inverter pada umumnya digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor AC. Selain untuk mengendalikan kecepatan motor AC, inverter juga digunakan sebagai catu daya AC, dan berbagai macam kebutuhan lainnya.

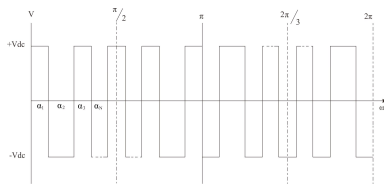
Sebuah inverter dikatakan bersifat ideal apabila tegangan DC yang masuk bebas dari *ripple* serta tegangan yang keluar dari inverter berbentuk gelombang sinusoidal murni.

### 2.2 Inverter PWM Satu Fasa Jembatan Penuh

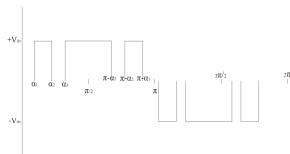
Inverter PWM satu fasa adalah inverter satu fasa yang menggunakan teknik penyaklaran PWM. *Pulse Width Modulation* merupakan proses perubahan sinyal sebuah gelombang dengan pengaturan besar kecilnya lebar pulsa gelombang.

PWM dapat dikatakan suatu teknik manipulasi dalam pengolahan sinyal gelombang yang menggunakan prinsip pensaklaran, yaitu pengaturan sinyal gelombang dalam keadaan *on* dan *off*.

Inverter PWM satu fasa dapat diwujudkan dengan *bipolar switching* dan *unipolar switching*. *Bipolar switching* merupakan keadaan pensaklaran yang mengalami keadaan pulsa bertegangan positif dan negatif. Sedangkan *unipolar switching* dapat didefinisikan keadaan pensaklaran yang memiliki keadaan pulsa bertegangan positif, negatif, dan nol. Gambar 2.1 dan 2.2 merupakan *Bipolar Switching Scheme* dan *Unipolar Switching Scheme*.



**Gambar 2.1** Bipolar Switching Scheme



**Gambar 2.2** Unipolar Switching Scheme

### 2.3 Harmonisa

Harmonisa dalam sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai suatu komponen sinusoida dari suatu perioda gelombang yang mempunyai satu frekuensi yang merupakan kelipatan bulat dari gelombang fundamental (Novi Gusnita, 2007). Jika frekuensi fundamentalnya  $f_o$  maka frekuensi harmonik orde ke  $n$  adalah  $n \times f_o$ . (Asnil, 2009).

Harmonisa tegangan keluaran inverter dapat ditentukan bila persamaan matematik dari tegangan keluaran inverter telah ditentukan. Persamaan ini didapat dengan menguraikan bentuk gelombang tegangan dengan menggunakan deret Fourier (Agus.S, 1988).

Perbandingan nilai komponen harmonik dengan komponen fundamental biasanya dinyatakan dalam persen, indeks ini disebut dengan *THD* (*Total harmonic Distortion*). *THD* biasanya digunakan untuk menyatakan penyimpangan bentuk gelombang yang mengandung harmonik terhadap gelombang sinusoidal murni dalam satu periode.

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- $V_1$  = Tegangan dasar
- $V_h$  = Tegangan harmonisa
- $I_1$  = Arus dasar
- $I_h$  = Arus harmonisa
- $h$  = Orde harmonisa

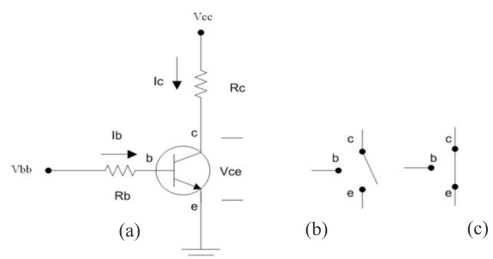
### 2.4 Mikrokontroler AT89S52

Mikrokontroler merupakan sebuah *chip* yang dapat digunakan untuk mengendalikan suatu sistem, baik yang bersifat sederhana maupun kompleks. AT89S52 merupakan mikrokontroler 8051 standar yang mempunyai 40 kaki yang bisa dikemas dalam bentuk DIP atau PLCC44 dengan 32 kaki dipakai untuk *port-port* multiguna, kaki untuk sumber tegangan, Kristal, dan kaki-kaki untuk kendali (pembacaan memori).

### 2.5 Transistor Sebagai Sakelar

Aplikasi transistor tidak hanya dibatasi pada penguatan sinyal saja. Tetapi dapat juga diaplikasikan sebagai sebuah saklar (*switch*) pada komputer atau peralatan kontrol lainnya.

Gambar 2.3.c menjelaskan saat transistor berada dalam kondisi saturasi, berarti transistor tersebut merupakan saklar tertutup dari kolektor ke emitor. Jika transistor berada dalam kondisi *cut off* berarti transistor seperti sebuah saklar yang terbuka seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.b



**Gambar 2.3** (a) Rangkaian Transistor Sebagai Saklar; (b) Transistor Dalam Kondisi *Cut Off*; (c) Transistor Dalam Keadaan Saturasi  
Sumber: Transistor *Datasheet*

Gambar 2.3a memperlihatkan prinsip kerja transistor sebagai saklar. Saat  $V_{bb}$  mengalir di kaki basis transistor, maka sambungan basis-emitor menjadi tertutup yang mengakibatkan transistor

berada dalam kondisi saturasi sehingga arus kolektor ( $I_c$ ) mengalir menuju kaki kolektor transistor. Sebaliknya jika tidak ada  $V_{bb}$  yang mengalir di kaki basis transistor, maka sambungan basis-emitor tetap terputus yang mengakibatkan transistor berada dalam kondisi *cut off* sehingga arus kolektor ( $I_c$ ) tidak bisa mengalir.

Berdasarkan prinsip kerja tersebut, maka switching transistor dapat digunakan sebagai pengemudi aliran arus listrik untuk mengendalikan motor, relay, dll.

Tegangan di sekitar rangkaian memberikan :

$$V_{bb} - V_{be} = I_b \times R_b \dots \dots \dots (2.3)$$

Jika arus  $I_b$  mengalir, maka diperoleh nilai  $R_b$  sebagai berikut :

$$R_b = \frac{V_{bb} - V_{be}}{I_b} \dots \dots \dots (2.4)$$

Sedangkan  $I_b$  dapat diperoleh

$$I_b = \frac{I_c}{\beta_{dc}} \dots \dots \dots (2.5)$$

$\beta_{dc}$  adalah besarnya penguatan arus yang dimiliki transistor

$$I_c = \frac{V_{cc} - V_{ce}}{R_c} \dots \dots \dots (2.6)$$

Jika  $I_c = 0$  maka  $V_{cc} = V_{ce}$ . Dalam keadaan ini transistor berada pada kondisi terbuka. Jika  $V_{ce} = 0$ , maka

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_c} \dots \dots \dots (2.7)$$

Arus  $I_c$  ini adalah arus kolektor saturasi yang menyebabkan transistor seperti kondisi saklar tertutup.

## 2.6 Rangkaian Regulator Tegangan

Rangkaian regulator tegangan merupakan rangkaian elektronika yang berfungsi untuk menstabilkan tegangan dari sebuah catu daya. Rangkaian regulator dapat direalisasikan dalam tiga bentuk rangkaian, yaitu: <sup>[9]</sup>

1. Regulator Tegangan Seri,
  2. Regulator Tegangan Paralel,
- Regulator Tegangan *IC (Integrated Circuit)*.

Rangkaian regulator tegangan dengan menggunakan komponen utama *IC (Integrated Circuit)* memiliki kelebihan lebih praktis dan tingkat kestabilan yang lebih baik. Fungsi – fungsi seperti pengontrol, sampling, komparator, referensi, dan proteksi yang tadinya dikerjakan oleh komponen diskret, sekarang semuanya dirangkai dan dikemas dalam *IC*.

**Tabel 2.1** Spesifikasi Tegangan *IC Regulator 78xx series* dan *79xx series*

LM 78xx/79xx (series)		Tegangan Output (Volt)		Tegangan Input Minimal (Volt)	
LM 7805	LM 7905	+5	-5	+7	-7
LM7806	LM7906	+6	-6	+8	-8
LM 7808	LM 7908	+8	-8	+10,5	-10,5
LM7809	LM7909	+9	-9	+11,5	-11,5
LM7810	LM7910	+10	-10	+12,5	-12,5
LM7812	LM7912	+12	-12	+14,5	-14,5
LM7815	LM7915	+15	-15	+17,5	-17,5
LM7818	LM7918	+18	-18	+21	-21
LM7824	LM7924	+24	-24	+27	-27

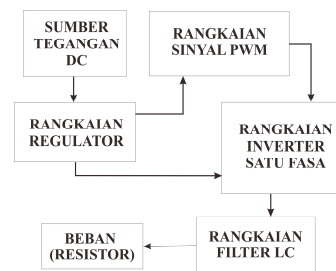
Sumber: (datasheet LM 78xx dan LM79xx)

## 2.7 Rangkaian Filter LC

*Low pass filter* merupakan kombinasi filter yang tersusun oleh komponen induktor dan kapasitor. *Low pass filter* atau *tapis pelewat rendah* digunakan untuk meneruskan sinyal berfrekuensi rendah dan meredam sinyal berfrekuensi tinggi.

## 3. Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan inverter PWM satu fasa dengan teknik eliminasi harmonisa dapat digambarkan dalam diagram blok rangkaian. Gambar berikut merupakan diagram blok inverter satu fasa yang dirancang.



**Gambar 3.1** Diagram Blok Inverter Satu Fasa Jembatan Penuh

### 3.1 Rangkaian Regulator

Rangkaian regulator dalam sistem inverter PWM satu fasa ini berfungsi sebagai penurun tegangan DC. Tegangan DC yang bersumber dari baterai (aki) menghasilkan tegangan sebesar 12 volt DC. Kemudian melalui rangkaian regulator tegangan diturunkan menjadi 9 Volt DC dan 5 Volt DC. Komponen yang terdapat di dalam rangkaian ini antara lain : *IC regulator*, resistor, kapasitor, dan beberapa komponen tambahan seperti LED.

### 3.2 Rangkaian Sinyal PWM

Rangkaian sinyal PWM dalam penelitian ini berfungsi sebagai kendali sistem inverter. Rangkaian ini menggunakan mikrokontroler jenis AT89s52 sebagai pembangkit pulsa. Pulsa yang dibangkitkan dirancang dari hasil simulasi penelitian sebelumnya. Hasil simulasi inverter satu fasa dari persamaan matematis menggunakan

$$V_{(wt)} = -\frac{4V_{dc}}{\pi} \left[ \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{\sin(nwt)}{n} x [1 - 2\cos(n\alpha_1) + 2\cos(n\alpha_2) - 2\cos(n\alpha_3)] \right] \dots \dots (3.1)$$

Persamaan untuk menentukan “switching angle” yang belum diketahui adalah :

$$1 - 2 \cos(\alpha_1) + 2 \cos(\alpha_2) - 2 \cos(\alpha_3) = -m \dots (3.2)$$

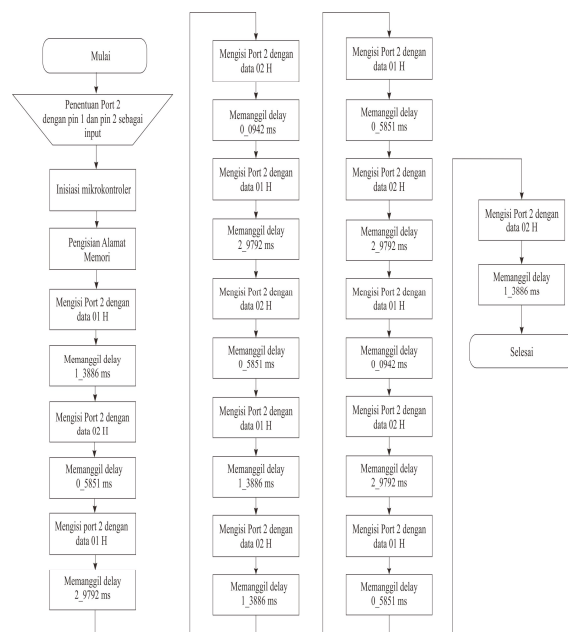
$$1 - 2 \cos(5\alpha_1) + 2 \cos(5\alpha_2) - 2 \cos(5\alpha_3) = 0. \quad (3.3)$$

$$1 - 2 \cos(7\alpha_1) + 2 \cos(7\alpha_2) - 2 \cos(7\alpha_3) = \dots \quad (3.4)$$

$$M \approx \frac{V_1}{4V_{dc}/\pi} \dots \dots \dots (3.5)$$

Perancangan rangkaian sinyal PWM menggunakan rangkaian mikrokontroler. Rangkaian sistem minimum diprogram untuk menghasilkan sinyal *clock* sesuai yang diinginkan. Sinyal diatur dengan waktu nyala dan waktu tunda sesuai dengan metode teknik eliminasi harmonisa.

Program hasil perhitungan untuk sinyal pemicu inverter dapat di rangkum dalam flowchart sebagai berikut :

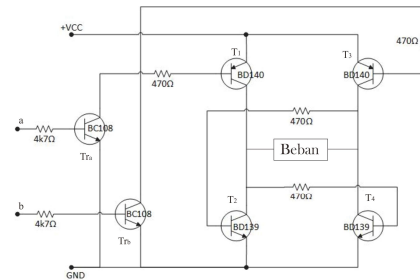


**Gambar 3.4** Flowchart program sinyal pemicu

### 3.3 Rangkaian Inverter Jembatan Penuh

Inverter ini dirancang memiliki 4 transistor sebagai sakelar utama, 2 transistor jenis PNP dan 2

NPN. Rancangan h-bridge inverter ini sedikit berbeda dari yang lain. Hal itu disebabkan karena TR2 mendapatkan bias basis dari TR3. Sama seperti TR2, TR4 juga mendapatkan bias basis dari TR1.



**Gambar 3.5** Rangkaian *H-Bridge* inverter

### 3.4 Rangkaian Filter

Rangkaian filter ini sangat sederhana karena hanya terdiri dari komponen L, (induktor) dan C, (kapasitor) yang terhubung dengan R, (beban). Tegangan keluaran inverter yang berbentuk gelombang tegangan AC kotak-kotak dari hasil simulasi diubah oleh rangkaian filter kombinasi komponen induktor dan kapasitor. Rangkaian filter LC disini berfungsi sebagai penyaring inverter satu fasa jembatan penuh agar gelombang keluaran mendekati sinusoidal.

#### 4. Pengujian dan Analisis

#### 4.1 Pengujian Power Supply

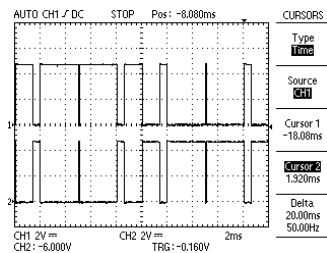
Pengujian power supply pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan power supply yang terdapat pada baterai (aki). Tegangan baterai yang tertulis ialah sebesar 12 volt. Sedangkan tegangan baterai yang terukur pada saat pengujian adalah sebesar 11,85 volt.

## 4.2 Pengujian Rangkaian Regulator

Pengujian rangkaian regulator pada penelitian ini bertujuan untuk memastikan keluaran rangkaian regulator sesuai dengan nilai yang tertulis pada ic regulatornya. Pengukuran pada Ic regulator dengan nilai indikator tegangan 9 volt menunjukkan hasil 9,11 volt, sedangkan Ic regulator dengan nilai indikator tegangan 5 volt sebesar 5.04 volt.

### 4.3 Pengujian Sinyal Kendali Inverter

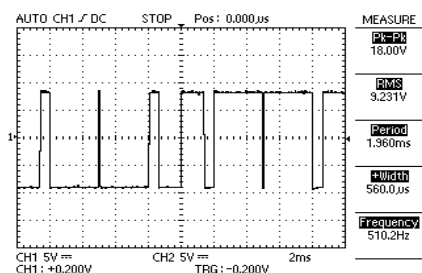
Sinyal kendali inverter didapatkan dari keluaran mikrokontroler melalui port 2.0 dan 2.1. Pengukuran dilakukan menggunakan osiloskop digital. Sinyal kendali inverter berjumlah dua sinyal untuk mendapatkan gelombang sinusoidal.



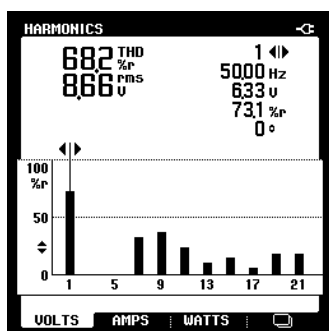
**Gambar 4.1** hasil pengukuran tegangan keluaran pada pin 2.0 dan 2.1 mikrokontroler dengan *osiloskop digital*

#### 4.4 Pengujian Output Inverter

Pengujian output inverter meliputi pengujian dan pengukuran tegangan, arus, harmonisa tegangan dengan tetapan beban 100  $\Omega$ . Dari pengujian keluaran inverter tanpa filter didapatkan keluaran gelombang dan harmonisa tegangan sebagai berikut:



**Gambar 4.2** Hasil Tegangan Output Inverter tanpa Filter (Pengukuran dengan *Osiloskop Digital*)

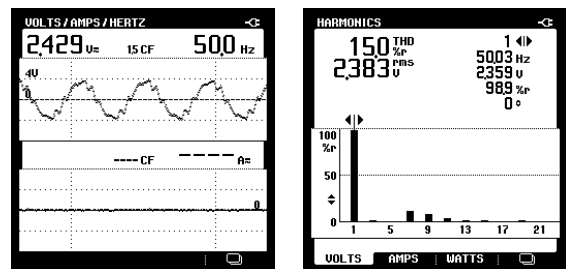


**Gambar 4.3** Hasil pengukuran harmonisa keluaran inverter tanpa filter dengan tahanan 100 ohm

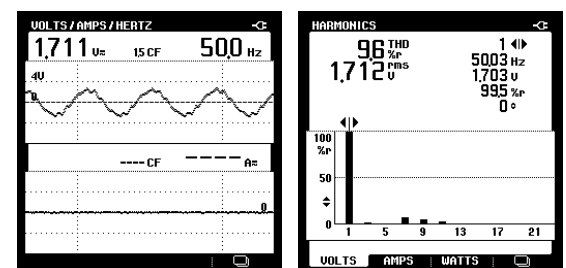
#### 4.5 Pengujian Output filter dan harmonisa

Proses pengujian rangkaian inverter satu fasa jembatan penuh dengan filter memiliki ragam pengujian. Pengujian dilakukan dengan mengganti nilai L dan C. Pada pengujian inverter menggunakan filter ini digunakan Power analyzer sebagai media ukur. Penggunaan power analyzer ditujukan agar dapat mengetahui kandungan

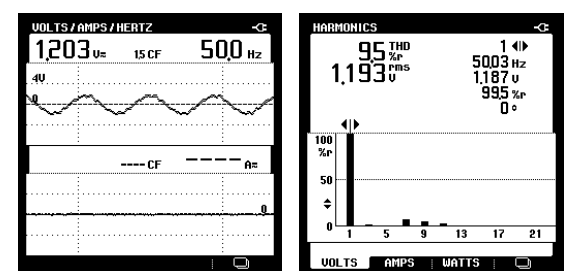
harmonisa yang ada pada keluaran inverter yang telah melalui filter. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 4.4 - 4.9.



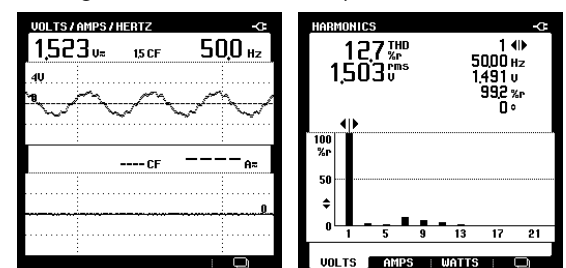
**Gambar 4.4** Tegangan dan harmonisa inverter dengan L = 50 mH, C = 30  $\mu$ F, dan R= 100  $\Omega$



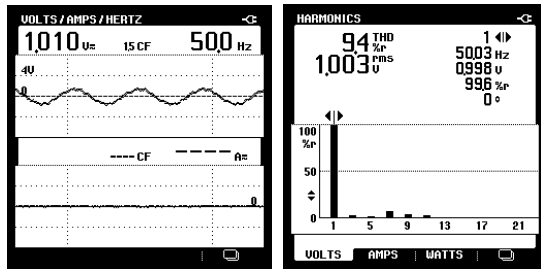
**Gambar 4.5** Tegangan dan harmonisa inverter dengan L = 50 mH, C= 65  $\mu$ F, dan R= 100  $\Omega$



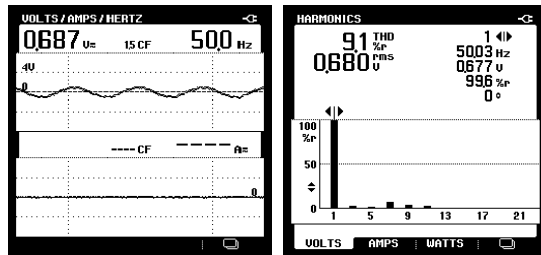
**Gambar 4.6** Tegangan dan harmonisa inverter dengan L = 50 mH, C= 100  $\mu$ F, dan R= 100  $\Omega$



**Gambar 4.7** Tegangan dan harmonisa inverter dengan L = 100 mH, C= 30  $\mu$ F, dan R= 100  $\Omega$



**Gambar 4.8** Tegangan dan harmonisa inverter dengan  $L = 100 \text{ mH}$ ,  $C = 65 \mu\text{F}$ , dan  $R = 100 \Omega$



**Gambar 4.9** Tegangan dan harmonisa inverter dengan  $L = 100 \text{ mH}$ ,  $C = 100 \mu\text{F}$ , dan  $R = 100 \Omega$

## 5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode teknik eliminasi harmonisa ini dapat menghilangkan harmonisa dalam orde rendahnya, yaitu harmonisa orde ketiga dan kelima sebelum melewati filter.
2. Mikrokontroler terbukti baik dapat digunakan sebagai pembangkit sinyal kendali inverter karena memiliki kecepatan dan ketelitian yang tinggi dalam proses switching dengan nilai error berkisar 0 - 15 % dalam waktu milisekon.
3. Rangkaian filter LC terbukti sangat baik digunakan untuk menyeleksi gelombang berfrekuensi tinggi dengan nilai THD berkisar 9 - 15%.

## Referensi

1. Agrawal, Jai P. 2001. *Power Electronic Systems Theory and Design..*, Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice-Hall, inc.
2. Asnil. 2009. **Harmonik Pada Inverter**. *Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*. Vol. 10, No.2.
3. Ayong Hiendro. 2011. **Multiple Switching Pattern for SHEPWM Inverter Using Differential Evolution Algorithms**. *International Journal of Power Electronics and Drive System*. Vol.1, No.2.
4. Harjono, D. 1997. *Prototipe Inverter Transistor Tiga Fasa Dengan Teknik Modulasi Lebar Pulsa (PWM) Sinus*. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

5. Jamal A. Mohammed. 2008. **Optimum Solving SHEPWM Equations for Single Phase Inverter Using Resultant Method**. *Journal Engineering & Technology*. Vol. 26, No.6.
6. P. Gani Raju dan N. Veda Kumar. 2009. **A Strategy For Harmonic Reduction Using Complete Solution**. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol.2, No.8.
7. Rashid, Muhammad H. 1993. *Power Electronics Circuits, Devices, and Applications, Second Edition*. London. Prentice-Hall International, Inc.
8. S, Wasito. 2006. *Vademekum Elektronika Edisi Kedua*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
9. Sugiyono, Agus. 1988. *Teknik Penghilangan Harmonisa Pada Inverter Satu Fasa Dengan Mikroprosesor Sebagai Pembangkit Sinyal Kendali*. Bandung: Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung.
10. Surjono, Herman Dwi. 2009. *Elektronika Lanjut*. Jawa Timur: Cerdas Ulet Kreatif.
11. Usman. 2008. *Teknik Antarmuka + Pemrograman Mikrokontroler AT89S52*. Yogyakarta: CV Andi Offset.



## Biografi

Barqie Tauhid, dilahirkan di Pontianak, Kalimantan Barat, pada tanggal 8 Mei 1989. Menempuh pendidikan sarjana teknik di Universitas Tanjungpura sejak tahun 2007, jurusan elektro, program studi teknik elektro.

Pontianak, 7 Agustus 2014  
Pembimbing Utama

**Ayong Hiendro, ST., MT**  
**NIP. 19691101 199702 1 001**